

ВУЛКАНОЛОГИЯ И СЕЙСМОЛОГИЯ

1998

№1

УДК 551.21

© 1998 г. БЕЛОВСОВ А.Б., БЕЛОВСОВА М.Г.

**ОТЛОЖЕНИЯ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ СОБЫТИЙ ИЗВЕРЖЕНИЯ
ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ 30 МАРТА 1956 г.
(КАМЧАТКА): ОТЛОЖЕНИЯ ОБЛОМОЧНОЙ ЛАВИНЫ**

Детальное изучение отложений в сопоставлении с описаниями извержения показало, что 30 марта 1956 г. на вулкане Безымянный (Центральная Камчатка) произошел обрушение-оползень восточного склона вулканической постройки объемом $0,5 \text{ км}^3$. Устойчивость вулкана была нарушена внедрением порции магматического расплава в его постройку и виде купола и криптокупола на докульминационной стадии извержения. Обвал трансформировался в холодную ($< 100^\circ\text{C}$) обломочную лавину, скорость которой превышала 60 м/с на расстоянии 10 км от вулкана. Обломочная лавина образовала три ветви, вложенные в речные долины. Максимальный путь (22 км) прошла Центральная ветвь. В процессе распространения обломочная лавина сдирала и толкала перед собой вал материала подножья вулкана (снег, почву, аллювий, растительность), который образовал протяженные грязевые потоки. За обрушением последовал катастрофический направленный взрыв, вызванный декомпрессией купола и криптокупола, и произошло извержение пирокластических потоков.

DEPOSITS AND SEQUENCE OF ERUPTIVE EVENTS AT BEZYMIANNY VOLCANO ON 30 MARCH 1956: DEBRIS AVALANCHE DEPOSITS, by B e l o u s o v A.B. and B e l o u s o v a M.G. Detailed study of deposits in comparison with visual observational data has shown that a failure of eastern slope of volcanic edifice with a volume 0.5 км^3 occurred at Bezymianny Volcano (Central Kamchatka) on 30 March 1956. Stability of the edifice was disturbed by intrusion of a new batch of magma into the edifice in the form of cryptodome and dome at preculminational stage of the eruption. A failure was transformed into a cool ($< 100^\circ$) debris avalanche with a speed more than 60 m/s at a distance of 10 km from the volcano. Debris avalanche formed three narrow branches enclosed in the river valleys. Central branch has maximum travel distance (22 km). During its movement debris avalanche scrapped off and pushed in front of it a bulwark of material of volcanic foot (snow, soil, alluvium, vegetation) that formed distant mud flows. Failure caused a decompression of the dome and cryptodome and as a result a powerful directed blast occurred. On the final stage of eruption the pyroclastic flows were erupted.

(Received June 20, 1996)

Institute of Volcanic Geology and Geochemistry, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamvhatky, 683006, Russia

Вулкан Безымянный входит в состав Ключевской группы вулканов, расположенной в центральной части п-ова Камчатка. Его извержение 30 марта 1956 г. относится к сильнейшим эксплозивным извержениям 20-го века. Необычные последствия извержения, такие, как сильное разрушение постройки вулкана с образованием крупного подковообразного кратера, поваленный в одном направлении лес на большой площади восточного подножья вулкана и особый характер отложений, позволили Г.С. Горшкову и Г.Е. Богоявленской [10] выделить это извержение в самостоятельный тип - направленный взрыв (или тип Безымянный). Они также выделили особый тип отложений, образование которого связывали с направленным взрывом. Эти отложения были подразделены на две фации; агломерат направленного взрыва и песок

направленного взрыва. Агломерат направленного взрыва — грубообломочные, резургентные, плохо сортированные отложения большой мощности с характерным холмистым рельефом поверхности, распространенные в осевой зоне разрушений, интерпретированы как материал постройки вулкана (древний купол), выброшенный взрывом. Песок направленного взрыва — относительно мелкозернистые, маломощные ювенильные пирокластические отложения, залегающие вокруг агломерата по всей площади поваленного извержением леса, соотнесены с отложением из палящей тучи, вырвавшейся вслед за выброшенным куполом.

Механизм извержения авторы работ [10, 26] представляли как взрыв на выброс. Предполагалось, что свободному выходу вулканических газов препятствовал древний купол, который играл роль пробки, закупорившей канал вулкана. В ходе извержения материал купола был наклонно выброшен взрывом по баллистическим траекториям. Направленность взрыва связывалась с неодинаковой прочностью склонов вулкана. Этим представлением противоречил ряд фактов. Так, в работе [16] посчитано, что для образования воронки кратера Безымянного 1956 г. необходимо количество пара, которое невозможно разместить в постройке вулкана. Авторы работы [1] показали, что зарегистрированные в ходе извержений вулкана Безымянный воздушные волны не могут быть отождествлены со взрывом на выброс необходимого масштаба. Не находила удовлетворительного решения проблема источника энергии для такой мощной эксплозии, что послужило поводом для предложения различных нетрадиционных механизмов этого извержения [11]. Несмотря на указанные противоречия, предложенные в работах [10, 26], последовательность событий, механизм извержения и соответственно генезис образовавшихся отложений были признаны многими отечественными геологами [4, 5, 14]. Позже отложения агломерата направленного взрыва обнаружены среди продуктов сильного эксплозивного извержения вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. Этот факт, несмотря на отсутствие среди отложений этого извержения эквивалента песка направленного взрыва, послужил основанием классифицировать его как направленный взрыв [4].

Интерес к направленным взрывам резко возрос после катастрофического извержения вулкана Сент-Хеленс 18 мая 1980 г. [27], которое проявило большое сходство с извержением вулкана Безымянный [4]. Визуальные наблюдения, видео-, фото- и киносъемка процесса извержения вулкана Сент-Хеленс показали, что оно началось крупномасштабным обвалом-оползнем части постройки вулкана, за которым последовал направленный взрыв. Обвал трансформировался в обломочную лавину, отложения которой оказались аналогичными отложениям агломерата направленного взрыва вулканов Безымянный и Шивелуч. Собственно направленному взрыву на вулкане Сент-Хеленс соответствовали только отложения, сходные с песком направленного взрыва вулкана Безымянный. Данные, полученные при изучении извержения и отложений вулкана Сент-Хеленс, дали возможность нового подхода к интерпретации характера и последовательности событий извержений вулканов Безымянный 1956 г. и Шивелуч 1964 г. Повторное изучение отложений извержения вулкана Шивелуч подтвердило обвално-оползневой генезис отложений его "агломерата" и доказало отсутствие фазы направленного взрыва среди событий 12 ноября 1964 г. [2, 19].

В настоящей работе представлены результаты изучения отложений обломочной лавины с извержения вулкана Безымянный 1956 г. Рассмотрены агломерат направленного взрыва и его взаимоотношения с другими типами отложений этого извержения. Цель работы - восстановление последовательности событий пароксизма 30 марта 1956 г. на основе изучения его отложений с привлечением данных наблюдения процесса извержения.

Извержение 1955-1956 гг. Катастрофический направленный взрыв 30 марта 1956 г. был эпизодом длительного извержения, в ходе которого сменилось несколько типов эруптивной активности. Описание извержения приведено в работах [8, 10]. Это извержение вулкана было первым за исторический период (в этом районе с 1697 г.) и



Рис. 1. Вулкан Безымянный до извержения 30 марта 1956 г. Вид с востока. Фото Б.И. Пийпа, 1950 г.



Рис. 2. Вулкан Безымянный после извержения 30 марта 1956 г. Вид с востока, 1988 г. В кратере, образовавшемся 30 марта 1956 г., сформировался купол

произошло, по данным тефрохронологических исследований, после 1000-летнего периода покоя [6, 7].

До извержения постройка вулкана представляла правильный конус высотой 3085 м (рис. 1). Это был стратовулкан преимущественно андезитового состава, осложненный вершинным и побочными экструзивными куполами.

Извержение началось 22 октября 1955 г. после 23-дневного роя землетрясений. До 30 марта 1956 г. извержение носило вулканский характер (докульминационная стадия извержения). В этот период на вершине вулкана образовался кратер диаметром 800 м, из которого происходили частые выбросы пепла на высоту 2-7,5 км. В конце ноября высота выбросов уменьшилась до 1-1,5 км и в кратере начался рост купола, который был впервые замечен с самолета 25 января 1956 г. [8]. Одновременно с ростом внутрикратерного купола началось сильное вздутие юго-восточного склона вулкана. Величина деформации, оцененная по фотографиям, достигала 100 м [10]. Деформация склона, вероятно, была связана с тем, что часть магматического расплава внедрялась

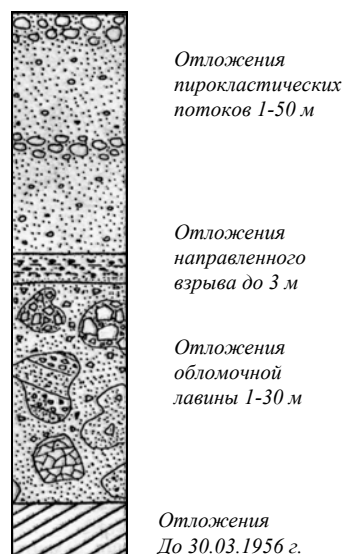


Рис. 3. Сводный стратиграфический разрез отложений 30 марта 1956 г.

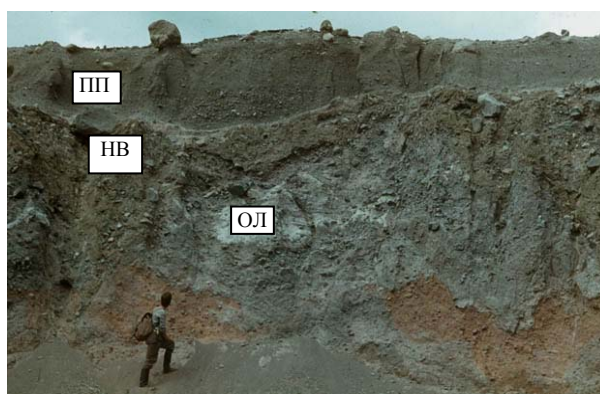


Рис. 4. Разрез отложений извержения вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. В верховьях р.Сухая Хапица. ОЛ – отложения обломочной лавины, НВ – отложения направленного взрыва, ПП – отложения пирокластических потоков

в виде криптокулола в постройку вулкана. В результате длительной эксплозивной активности докульминационной стадии вокруг вулкана была отложена пачка тонко-слоистых мелко-среднезернистых пеплов, мощность которых у восточного подножья превышала 1 м (пеплы докульминационной стадии извержения).

Катастрофическое эксилонивное извержение произошло 30 марта 1956 г. неожиданно, на фоне общего ослабления извержения и сейсмической активности. В момент начала извержения в 17 ч. 11 мин. 05 с. произошло относительно сильное вулканическое землетрясение. Визуальные наблюдения дали мало информации о последовательности событий во время пароксизма, так как они выполнялись с расстояний

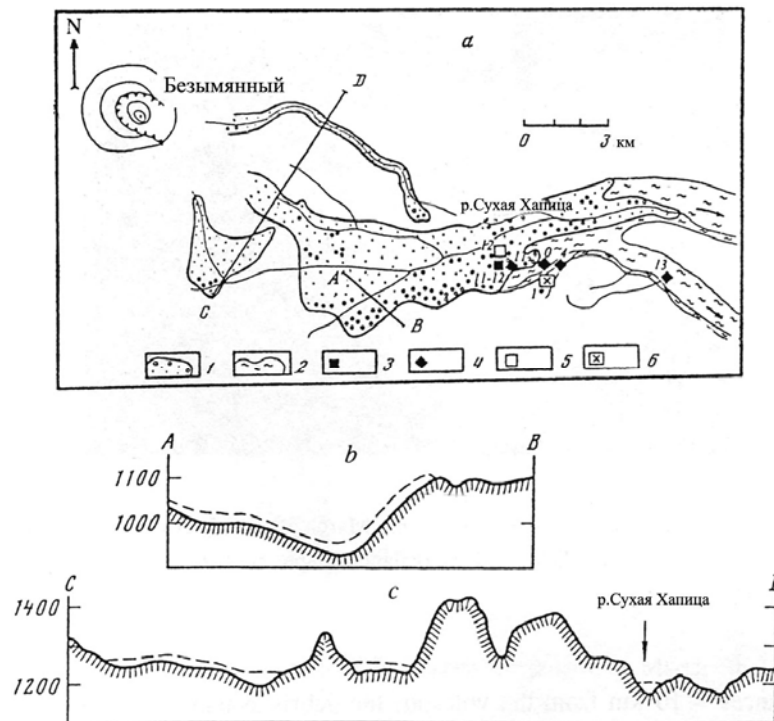


Рис. 5. Схема (а) распространения отложений обломочной лавины вулкана Безымянный 30 марта 1956 г.: 1 - отложения обломочной лавины, их граница и области залегания отложений на возвышенных участках рельефа, 2 - отложения грязевых потоков. Точки детального изучения отложений (цифры рядом с точками - номер точек): 3 - блоковой фации обломочной лавины, 4 - смешанной фации обломочной лавины, 5 - кластической дайки направленного взрыва в отложениях обломочной лавины, 6 - отдельных холмов лавины в отложениях направленного взрыва. б, в - Профили вдоль линии АВ и СД соответственно, показывающие взаимоотношения отложений обломочной лавины вулкана Безымянный 30.03.1956 г. (пунктир) и рельефа.

> 45 км и со сторон, неблагоприятных для наблюдений. По фотографиям, сделанным во время пароксизма из Усть-Камчатска [8], можно оценить только общую высоту эруптивного облака, которая достигла 34—36 км.

В результате извержения образовался подковообразный кратер диаметром ~1,8 км, открытый на восток (рис. 2). У восточного подножья вулкана на площади ~500 км² деревья и кустарники были сломаны и повалены в направлении от вулкана. В зоне разрушений возник покров специфических пирокластических отложений. После пароксизма в кратере начал выжиматься купол, формирование которого, сопровождаемое относительно слабыми эксплозивными извержениями с образованием глыбово-пепловых пирокластических потоков, продолжается до настоящего времени [3].

Отложения 30 марта 1956 г. Среди отложений пароксизма 30 марта 1956 г. авторами работы [10] выделены: агломерат направленного взрыва; песок направленного взрыва; отложения пирокластических потоков и тефры¹. Проведенное исследование показало, что агломерат направленного взрыва имеет обвально-оползневой генезис [22] и далее будет именоваться "отложения обломочной лавины", как это принято для аналогичных отложений вулкана Сент-Хеленс [25, 31]. Отложения песка направ-

¹ Термин "тефра" здесь употребляется для обозначения пирокластических отложений любой размерности, транспортированных в эруптивном облаке (лапилли и пеплов).

Морфологические характеристики обломочной лавины вулкана
Безымянный 30 марта 1956 г.

Ветвь	Пройденный путь, км	Мощность, м	Площадь, км ²	Объем, км ³
Северная	11	20-30	2,0	0,06
Центральная	22	1-15	29,5	0,4
Южная	8	3-10	4,5	0,04
Общее			36,0	0,5

ленного взрыва непосредственно связаны с катастрофическим направленным взрывом (далее - "отложения направленного взрыва").

За годы, прошедшие после извержения, отложения 30.03.1956 г. во многих местах вскрыты эрозией на всю мощность, что позволило определить их взаимоположение в разрезах. Выяснилось, что с удалением от вулкана взаимоположение отложений меняется. Это, по-видимому, связано с тем, что их образование на вулкане разделялось интервалами в секунды - минуты, а распространение происходило с различной скоростью. Таким образом, последовательность напластования вблизи вулкана содержит информацию о последовательности событий извержения, а изменение положения в разрезе с удалением от вулкана отражает различие в скоростях перемещения продуктов извержения. Сводный разрез отложений для ближней зоны восточного подножья вулкана (расстояние < 10 км), отражающий последовательность событий извержения включает снизу вверх (рис. 3 и 4): 1) отложения обломочной лавины (старый термин "отложения агломерата направленного взрыва"); 2) отложения направленного взрыва (старый термин "отложения песка направленного взрыва"); 3) отложения пирокластических потоков и тефры. Взаимоотношения пирокластических потоков и тефры определить не удалось вследствие несовпадения областей их распространения и малой мощности тефры.

Отложения обломочной лавины. Геометрия отложений. Отложения обломочной лавины образуют три крупные ветви (Северную, Центральную и Южную), вложенные в речные долины восточного подножья вулкана (рис. 5; см. таблицу). На возвышенностях (по-местному - "гривах"), разделяющих долины, отложения обломочной лавины отсутствуют.

Северная ветвь залегает в узком каньоне верховьев р. Сухая Хапица. В местах резких поворотов каньона отложения образуют короткие заплески по борту каньона. Северная ветвь имеет длину 11 км, при ширине -200 м. Для нее характерны максимальные мощности отложений - до 20-30 м (рис. 4). Покрытая отложениями площадь 2 км², объем 0,06 км³.

Центральная ветвь, самая большая, вложена в протяженную систему речных долин. Она начинается в широкой долине левых притоков нижнего течения р. Тундровый Ключ (в так называемых "Воротах"), переходит в нижнее течение Тундрового Ключа и заканчивается в долине среднего течения р. Сухая Хапица. Некоторая часть материала Центральной ветви образует широкий заплеск на северные отроги горы Зимина, являющиеся правым бортом долины р. Тундровый Ключ. В этом месте долина делает резкий поворот к востоку. Относительная высота, на которую взброшен материал, достигает 200 м. Длина Центральной ветви 22 км, ширина 1—4 км, мощность отложений 1—15 м, площадь 29,5 км², объем 0,4 км³.

Южная ветвь залегает в верховьях р. Тундровый Ключ и его левом притоке. Она изучена в наименьшей степени, так как слабо вскрыта эрозией. Мощность оценивается в 3—10 м, протяженность 8 км. Площадь отложений —4,5 км², объем 0,04 км³.

Суммарный объем отложений обломочной лавины 0,5 км³, что составляет -10% первоначального объема вулканической постройки. Эта цифра близка объему полости нового подковообразного кратера (0,74 км³ [17]). Меньший объем отложений обломочной лавины, вероятно, связан с тем, что часть старой постройки вулкана (>0,05 км³) была разрушена еще в до кульминационную стадию извержения в период

образования кратера, часть (до $0,03 \text{ км}^3$) вошла в состав отложений направленного взрыва, где доля резургентного материала составляет в среднем 16%, а часть, смешавшись со снегом, вошла в состав грязевых потоков.

На расстояниях $< 10 \text{ км}$ от вулкана отложения обломочной лавины формируют самый нижний слой отложений пароксизма 30 марта 1956 г. Подстилающие отложения представлены аллювием или (в местах прилегания к бортам долин) отложениями амбонской толщи (отложения обвала вулкана Камень возрастом -1000 лет [6, 7]), или почвенно-пирокластическим чехлом (почва с многочисленными прослоями пеплов). Контакт с подстилающими отложениями ровный, резкий. Подстилающие отложения, как правило, недеформированы. Иногда почвенно-пирокластический чехол несет следы деформации, отражающие горизонтальное движение обломочной лавины (горизонтальные срывы, микронадвиги, лежащие складки).

Отложения обломочной лавины перекрыты отложениями направленного взрыва, которые в долинах представлены, как правило, мощным (до 3 м) слоем обломков пористых и плотных серых ювенильных андезитов глыбово-дресвяной размерности.

Контакт обломочной лавины с перекрывающими отложениями направленного взрыва весьма неровный. Кровля отложений лавины имеет резкие выступы и впадины неправильной формы с амплитудой до нескольких метров. Отложения направленного взрыва часто образуют апофизы и кластические дайки, закрученные вниз в отложения обломочной лавины на глубину в несколько метров. Образование выступов на поверхности отложений обломочной лавины связано как с деформациями материала лавины в процессе ее движения, так и с неоднородностью ее внутреннего строения, унаследованной от неоднородности постройки вулкана. Иногда выступы обломочной лавины протыкают вышележащие отложения направленного взрыва и пирокластических потоков и выходят на поверхность в виде отдельных холмов конической формы. Коническая форма — результат постепенного рассыпания выступов. Там, где перекрывающие отложения имеют незначительную мощность (обычно в местах заплеска на борта долин, где отложения направленного взрыва маломощны, а отложения пирокластических потоков отсутствуют), поверхность обломочной лавины имеет резко выраженный холмистый рельеф (рис. 6). Холмы в большинстве случаев имеют форму, близкую к конической, с крутизной склонов $\sim 30^\circ$. Некоторые холмы имеют форму усеченного конуса с плоской субгоризонтальной вершиной. Иногда вершина холма имеет вид острого гребня. Встречаются как отдельные холмы, так и группы сросшихся холмов. Большая часть холма закрыта осыпью, а в верхней части обычно выступает плотное ядро, состоящее из ненарушенного материала обломочной лавины. Отдельные холмы или их группы обычно разделены относительно плоскими участками, которые перекрыты отложениями направленного взрыва и переотложенным материалом. Измерения размеров холмов, выполненные в районе, где они достигают наибольшей высоты (точка на рис. 5, а), показали, что высота холмов достигает 16 м (рис. 6 и 7). Количество холмов на единицу площади здесь ~ 700 на 1 км^2 . Кроме холмов поверхность отложений лавины имеет возвышенности и депрессии более крупного порядка. Они обычно соответствуют неровностям подстилающего рельефа, но имеют значительно меньшую амплитуду. Иными словами, отложения обломочной лавины не полностью заполняли и выравнивали понижения рельефа, в отличие от отложений пирокластических потоков, которые на заключительной стадии извержения полностью заливали оставшиеся депрессии.

На расстоянии $> 10 \text{ км}$ от вулкана отложения направленного взрыва начинают встречаться как над, так и под отложениями обломочной лавины. Это свидетельствует о том, что здесь отложения лавины и направленного взрыва происходили одновременно.

Характер боковых границ отложений обломочной лавины определить сложно, так как они обычно перекрыты отложениями направленного взрыва и пирокластическими потоками. Достаточно резкая граница встречается только местами, образуя уступ высотой в первые метры. Четкая фронтальная граница в виде уступа высотой



Рис. 6. Холмистый рельеф поверхности отложений обломочной лавины вулкана Безымянный 30.03.1956 г. Высота холма 16 м

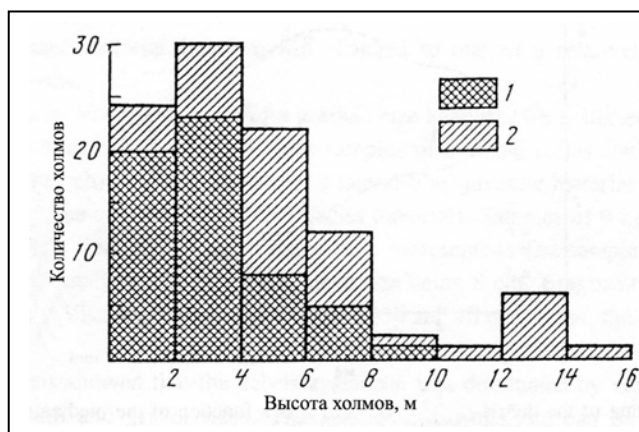


Рис. 7. Гистограмма распределения холмов обломочной лавины вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. по высоте на площади 0.14 км². Общее число холмов 100; 1-одиночные холмы. 2 - группы холмов

~4 м видна у Северной ветви. У Центральной ветви она уничтожена эрозией, а у Южной — закрыта отложениями пирокластического потока.

В нескольких местах отдельные конические холмы, сложенные агломератом направленного взрыва, удалены от границы основной массы отложений лавины на расстояние до нескольких километров. Наличие "отскочивших" холмов давало основание предполагать, что они были выброшены взрывом по баллистическим траекториям (устные сообщения Ю.Б. Слезина и И.В. Мелекесцева). Изучение нескольких таких холмов показало, что они представляют собой отдельные линзы (блоки) лавины, которые округлым основанием полупогружены в относительно гомогенную смесь

почвы и материала лавины, по текстуре сходную с грязевым потоком. Этот материал в некоторых районах обрамляет отложения Центральной ветви обломочной лавины, а от ее фронта, а также в местах, где лавина испытывала резкие повороты, образует самостоятельные протяженные (до нескольких километров) потоки. По-видимому, лавина в процессе движения, подобно бульдозеру, сдирала, сгребала и толкала перед собой вал разнообразного материала подножья вулкана: снег, почву, растительность, аллювий и т.д. Этот материал благодаря большому содержанию воды (снеговой) был более подвижным и распространился на большее расстояние, захватив часть материала лавины. Найдено также два холма размером ~1 м, полупогруженных в отложения направленного взрыва и отстоящих на несколько сот метров от границы обломочной лавины. Эти холмы обнаружены в районе, где облако направленного взрыва догнало обломочную лавину, и одновременно лавина делала резкий поворот к востоку из-за столкновения с отрогами вулкана Зимина (точка 1* на рис. 5,а). Вероятно, небольшие куски материала обломочной лавины были подхвачены здесь облаком направленного взрыва и транспортированы в нем на небольшое расстояние. Полевые наблюдения показывают, что этот процесс не имел широкого распространения.

Состав отложений. В отложениях обломочной лавины присутствует материал трех типов.

Тип 1. Основу отложений составляет резургентный материал вулканогенного происхождения, слагавший до 30 марта 1956 г. восточную часть постройки вулкана Безымянный: древняя пирокластика, лавовые потоки, купола, дайки и т.д. преимущественно андезито-базальтового и андезитового состава. Этот материал находится и лавине в сильнораздробленном, но, как правило, неперемешанном состоянии. Его можно охарактеризовать как брекчию, в которой крупные угловатые обломки погружены в матрицу из того же материала, раздробленного до алеврито-песчаной размерности. Изредка встречаются участки слабораздробленной (иногда только трещиноватой) породы размером до первых десятков метров. В обнажениях обломочной лавины отдельные части вулканической постройки имеют вид линз неправильной формы или сильно деформированных слоев разного цвета (малинового, желтого, зеленого, черного, серого и др.), что связано с особенностями состава и с разной степенью окисления и гидротермального изменения исходной породы. Контакты между линзами сильно неровные, извилистые и, как правило, резкие. Размер линз обычно 1—100 м, но может быть как меньше, так и больше. Линзы разного размера, формы и цвета образуют характерный мозаичный рисунок в обнажениях, который легко диагностируется. Такая мозаичная текстура характерна для отложений обломочных лавин вулканического происхождения [28, 29]. В иностранной литературе эти линзы получили название "блоков", а в случае размеров более 100 м - "мегаблоков" [29]. Материал лавин, состоящий из таких блоков, получил название "блоковой фации" [24, 25].

На расстоянии > 10 км от вулкана в отложениях обломочной лавины начинает в возрастающем количестве появляться материал еще двух типов.

Тип 2. Брекчия темного грязно-коричневого цвета, состоящая из относительно гомогенной смеси материала постройки, почвы, гальки из подстилающего аллювия и обломков серого ювенильного андезита направленного взрыва. В эту матрицу вкраплены деформированные куски почвы и округлые или сильно вытянутые линзы материала постройки вулкана (тип 1) размером сантиметры - первые метры, а также куски необугленной размочаленной древесины. В иностранной литературе такой тип отложений обломочных лавин получил название "смешанной фации" [24]. Смешанная фация присутствует только в отложениях Центральной ветви лавины. С расстоянием от вулкана ее доля увеличивается.

Тип 3. Ювенильная пирокластика направленного взрыва серого цвета глыбово-древесной размерности, которая выполняет карманы, линзы неправильной формы и кластические дайки, заключенные обычно в блоковую или редко смешанную фации.

По составу этот материал полностью аналогичен перекрывающим отложениям направленного взрыва. В некоторых случаях удается проследить переход указанных линз и кластических даек в перекрывающие отложения. В целом, содержание ювенильной пирокластики направленного взрыва в отложениях лавины незначительное.

Геологическое строение отложений. Строение ветвей обломочной лавины различно. Это обусловлено в основном тем, что они прошли разное расстояние. С этих позиций Центральную ветвь можно считать наиболее развитой. Она имеет более сложное строение. Северная ветвь обломочной лавины имеет относительно простое строение и может рассматриваться как пример обломочной лавины, "законсервированной" на раннем этапе движения. Северная ветвь сложена почти исключительно раздробленным, но не перемешанным материалом вулканической постройки (материалом типа 1 или блоковой фации). Отдельные линзы имеют размеры десятки — сотни метров. Контакты между ними резкие, без признаков смещения материала. Материал направленного взрыва (тип 3) и смешанной фации (тип 2) в отложениях Северной ветви отсутствует. Южная ветвь по своему строению близка к Северной ветви. Плохая обнаженность не позволила изучить ее подробно.

Строение отложений Центральной ветви обломочной лавины закономерно меняется с удалением от вулкана. Редкие обнажения на расстоянии до 10 км (отложения Центральной ветви здесь перекрыты чехлом глыбово-пепловых пирокластических потоков, связанных с продолжающимся формированием купола в кратере 1956 г.) показывают, что здесь строение Центральной ветви подобно строению Северной ветви (материал блоковой фации составляет почти 100%). По мере удаления от вулкана в отложениях увеличивается доля материала смешанной фации, которая или образует невыдержанные по простиранию слои вдоль кровли и/или подошвы обломочной лавины, или слагает линзы, заключенные в материал типа 1. Одновременно начинают появляться карманы, линзы и кластические дайки, выполненные ювенильным материалом пирокластики направленного взрыва. С расстоянием происходит уменьшение размеров "блоков" материала типа 1. Все эти изменения связаны с прогрессивным развитием процесса смещения, который происходил в ходе движения обломочной лавины. На расстоянии > 22 км от вулкана отложения Центральной ветви обломочной лавины трансформируются в отложения грязевого потока мощностью 1-2 м, в котором изредка встречаются округлые блоки материала обломочной лавины. Самые крупные из этих блоков выступают над плоской поверхностью грязевого потока в виде редких конических холмов высотой до 1,5 м. Трансформация обломочной лавины в лахар произошла в результате смещения обвалившегося материала постройки вулкана (который был изначально достаточно "сухим") с большим количеством воды из снега, заполнявшего долины, по которым обломочная лавина двигалась. В отложениях это проявилось в полной потере первоначальной неоднородной линзовой (блоковой) текстуры обломочной лавины и переходу в относительно гомогенные отложения грязевого потока.

Гранулометрия. Для гранулометрического анализа было отобрано шесть образцов материала блоковой фации (весом по 8 кг), четыре образца смешанной фации (один весом 8 кг, три - по 1 кг) и один образец ювенильного материала направленного взрыва (вес 1 кг, отобран из кластической дайки, заключенной в материал блоковой фации). Образцы весом 8 кг отбирали для обеспечения статистической представительности грубых фракций. Образцы анализировали сухим просеиванием. Максимальный размер сит составлял 8 см. Обломки более крупного размера не анализировали. По визуальным оценкам их диаметр достигает 10-40 см, а количество колеблется в очень широких пределах.

Гранулометрический анализ показал, что в обломочной лавине преобладает очень плохо сортированный материал песчано-дресвяной размерности. Гранулометрические характеристики обломочной лавины вулкана Безымянный 30 марта 1956 г.:

Медианный диаметр, Md	-2,5...2,5 (0,3) фи
Коэффициент сортировки,	2,7...4,6 (0,3) фи
Гравий: фракция > 2 мм (%)	16,7...59,0 (37,2)
Песок: фракция 0,063-2 мм (%)	37,2...62,6 (52,6)
Глина: фракция < 0,063 мм (%)	3,8...20,7 (10,2)

В скобках указаны средние значения гранулометрических характеристик.

На графике медианный диаметр-сортировка (коэффициенты Инмана) отложения обломочной лавины вулкана Безымянного занимают область, характерную для вулканокластических отложений, не подвергшихся какой-либо сортировке: пирокластических потоков, лахаров и обломочных лавин (рис. 8).

Для гранулометрического анализа блоковой фации был отобран материал, который до обрушения представлял собой скальную породу (лавовые потоки, экструзии, дайки). Древний пирокластический материал не опробовали, так как его гранулометрический состав зависел от изначального происхождения и мог быть самым разнообразным. Таким образом, результаты анализа блоковой фации характеризуют дробление скальных пород постройки при внедрении криптокулола, обрушении и движении обломочной лавины. Для гистограмм гранулометрического состава блоковой фации характерно примерно равное весовое содержание всех измеренных фракций (как правило 5-10%). Гистограммы не имеют четко выраженных максимумов и обычно полимодальны (рис. 9,а). Материал блоковой фации среди отложений лавины отличается наихудшей сортировкой. Гранулометрический состав отложений направленного взрыва из кластической дайки (рис. 9,б) выделяется резким преобладанием грубых фракций, что характерно для фации отложений направленного взрыва, залегающих в долинах, начинающихся непосредственно на восточных склонах вулкана Безымянный. Специфика гранулометрического состава смешанной фации (рис. 9,б) - бимодальность за счет содержания тонких и грубых фракций - отражает генезис фации. Содержание тонкой фракции, вероятно, увеличивалось за счет подмешивания почвы и пеплов докульминационной стадии извержения, а грубой — за счет примеси материала направленного взрыва.

Температура, характер течения, скорость и подвижность обломочной лавины. Необугленные фрагменты древесины, встречающиеся в отложениях, и отсутствие следов кипения воды в виде трубок фумарол позволяют сделать вывод, что температура обломочной лавины во время движения, вероятно, не превышала 100°C. Текстульные особенности отложений показывают, что обломочная лавина была слабо флюидизирована, была относительно сухой и характер ее течения был близок к ламинарному.

Основываясь на амплитуде заплеска материала Центральной ветви на отроги вулкана Зимина на участке ее резкого поворота, можно оценить скорость лавины. Используя формулу $v=(2gh)^{1/2}$ для тела, брошенного вертикально вверх, где v — скорость, g - ускорение свободного падения, h - амплитуда заплеска (200 м), получаем скорость 60 м/с на расстоянии 10 км от вулкана. Эта оценка является минимальной, поскольку не учитывает внутреннего трения. В целом указанное значение близко к скорости лавины вулкана Сент-Хеленс (максимальная - 80 м/с и средняя - 30 м/с), которая была оценена как прямым, так и косвенными методами [31].

Подвижность обломочных лавин характеризуется отношением максимальной высоты, "сброшенной" обвалившимся материалом, к максимальному пройденному пути. Для Северной, Центральной и Южной ветвей обломочной лавины вулкана Безымянный "сброшенная высота" оценивается значениями соответственно 2,2; 2,6 и 2 км, максимальное пройденное расстояние 11, 22 и 8 км, а отношение этих величин равно 0,2; 0,12 и 0,25, что близко средним значениям для обломочных лавин вулканического происхождения с равными объемами обрушения [28].

Последовательность событий 30 марта 1956 г. Характеристики отложений агломерата направленного взрыва (залегание в долинах с заплесками на борте в мес-

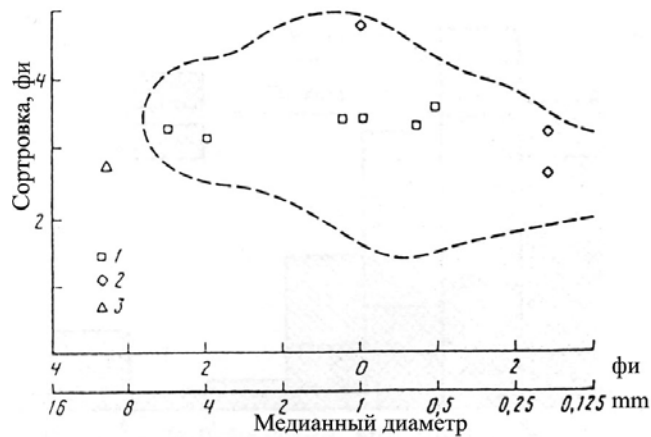


Рис. 8. Соотношение между сортировкой и медианным диаметром (коэффициенты Инмана) для отложений обломочной лавины вулкана Безымянный: 1 - блоковая фация, 2 - смешанная фация, 3 - материал направленного взрыва, заключенный в отложения лавины. Пунктир - область пирокластических потоков [32]

тах их поворотов; отсутствие агломерата на возвышенностях, разделяющих ветви обломочной лавины; очень плохая сортировка, нехарактерная для отложений, транспортированных "по воздуху"; отсутствие ударных деформаций подстилающих отложений и присутствие сдвиговых; закономерное развитие процесса смешения материала по мере удаления от вулкана и др.) позволяют сделать вывод, что этот материал не был выброшен по баллистическим траекториям, а распространялся как поток - в виде обломочной лавины. Полное тождество агломерата направленного взрыва с отложениями обломочной лавины вулкана Сент-Хелепс предполагает сходный генезис - образование в результате обвала-оползня части вулканической постройки.

Залегание обломочной лавины в самой нижней части разреза отложений 30.03.1956 г. (на расстоянии < 10 км от вулкана) свидетельствует о том, что обрушение было первым событием пароксизма. Устойчивость постройки была нарушена внедрением порции магматического расплава в виде купола и криптокупола на докульминационной стадии извержения. Обвал был спровоцирован вулканическим землетрясением в 17 ч. 11 мин. 05 с. Обвалившаяся часть постройки в процессе движения была рассечена на три части двумя "гривами" - относительно крупными отрогами восточного подножья вулкана. Каждая часть образовала отдельную ветвь обломочной лавины. Северная и Южная ветви не распространились далеко, по-видимому, вследствие небольшого объема. Самая большая по объему Центральная ветвь прошла наибольшее расстояние. В процессе распространения обломочная лавина сдирала и толкала перед собой вал материала подножья вулкана (снег, почву, аллювий, растительность). Часть этого материала смешалась с лавиной, образовав смешанную фацию обломочной лавины, а часть - образовала самостоятельные протяженные грязевые потоки.

За обрушением последовал катастрофический направленный взрыв, вызванный декомпрессией купола и криптокупола. Характер контакта между отложениями обломочной лавины и направленного взрыва (закрученные классические дайки и апофизы) свидетельствует, что материал направленного взрыва откладывался на поверхность движущейся обломочной лавины. Появление отложений направленного взрыва под обломочной лавиной на расстоянии > 10 км от вулкана свидетельствует о том, что здесь фронт облака направленного взрыва перегнал фронт обломочной лавины. Скорость лавины была > 60 м/с, следовательно, это событие произошло

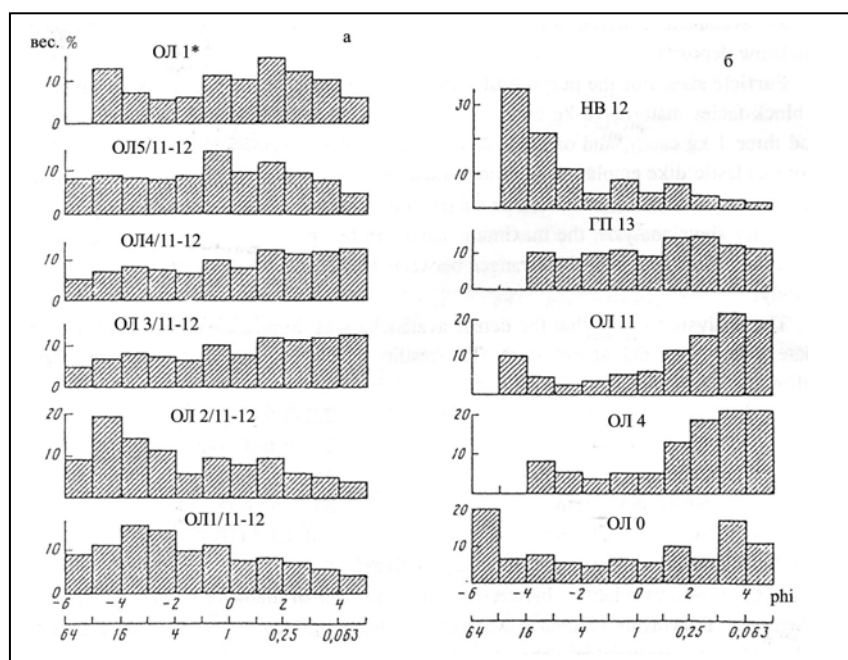


Рис. 9. Гистограммы гранулометрического состава отложений обломочной лавины вулкана Безымянный: *а* - блоковой фации. *б* - смешанной фации (Ол, 0, Ол 4, Ол 11, Гл 13) и кластической дайки направленного взрыва в отложениях лавины (Нв 12). Номера точек см. на рис. 5,а

менее чем через 2,5 мин после начала обрушения. Скорость распространения пирокластической волны направленного взрыва неизвестна, поэтому можно считать 2,5 мин максимально возможным интервалом между началом обрушения и направленным взрывом. Если принять скорость распространения волны равной скорости облака направленного взрыва на вулкане Сент-Хеленс (~100 м/с) [27]), то интервал между обрушением и взрывом на вулкане Безымянный был < 1 мин.

Вслед за обрушением и направленным взрывом произошло извержение пирокластических потоков пемзовидного андезита, отложения которых в долинах восточного подножья завершают разрезы отложения пароксизма 30.03.1956 г.

Специальное изучение тефры извержения 30.03.1956 г, авторами не проводилось, однако ее относительно тонкозернистый состав и малая мощность [11] позволяют высказать предположение, что она была отложена не из эруптивной колонны плинианского извержения, а оставлена в основном пепловым облаком, поднявшимся над обширными полями отложений направленного взрыва и пирокластических потоков. Если эта предположение верно, то в ходе пароксизма 30.03.1956 г. не было отдельной продолжительной стадии плинианского извержения, как это имело место на вулкане Сент-Хеленс 18.05.1980 г.

Отложения агломерата направленного взрыва вулкана Безымянный для отечественных геологов в течение многих лет были эталоном отложений направленного взрыва. Обнаружение этих отложений на вулканах Шивелуч (возраст 30 000 лет [14] и 1964 г. [4, 14]), Камень [13], Тауншиц [18], Авача [15], Харимкотан [9] и др. служило основанием для выделения в истории этих вулканов извержений типа направленный взрыв. Представленные результаты изучения отложений агломерата вулкана Безымянный показали, что это отложения обломочной лавины, которая

образовалась в результате крупномасштабного обрушения вулканической постройки. Продуктом собственно направленного взрыва оказался только песок направленного взрыва - отложения, которые к настоящему моменту достоверно найдены еще только на одном вулкане — Сент-Хеленсе. Данные авторов по вулканам Шивелуч [2, 19, 20], Харимкотан [21] и Авача [23] показали, что крупномасштабные обрушения, как правило, сопровождавшиеся сильными эксплозивными извержениями, действительно имели место на этих вулканах. Так как эквивалент песка направленного взрыва на указанных вулканах не обнаружен, то нет оснований для классификации этих извержений как направленных взрывов.

Исследования авторов настоящей работы и литературные источники [19, 20, 25, 28-31] показывают, что причины обрушений на вулканах могут быть различными. В большинстве случаев постройки вулканов теряют устойчивость под воздействием внедряющейся вязкой магмы (посредством деформаций, сейсмичности, изменения гидрогеологических условий) в процессе подготовки нового извержения, как произошло на вулканах Безымянный в 1956 г., Шивелуч в 1964 г. и Сент-Хеленс в 1980 г. В некоторых случаях постройка вулкана теряет прочность в результате медленного разложения пород под действием фумарол (как, вероятно, произошло на вулкане Бандай-Сан в 1888 г.) или в результате неравномерной эрозии постройки (как, возможно, было на потухшем вулкане Камень 1000 лет назад). Во многих случаях толчком к обрушению служат вулканические или тектонические землетрясения.

Причина обрушения находит свое отражение в событиях, непосредственно за ним следующих. Это связано с тем, что обрушение приводит к резкому уменьшению литостатического давления. Если обрушение произошло под действием внедряющейся магмы, то снятие литостатического давления вызывает эксплозивное извержение магматической природы. При этом глубина нахождения расплава отражается на типе извержения. Глубокое положение расплава в момент обрушения приводит в большинстве случаев к плинианскому извержению с образованием пирокластических потоков (Шивелуч 1964 г.). Если в постройке вулкана присутствует гидротермальная система, то ее разгрузка вызывает фреатический взрыв, предваряющий плинианское извержение (Шивелуч 1964 г.). Близповерхностное нахождение расплава в форме купола и/или криптокупола добавляет к указанному сценарию катастрофический направленный взрыв, следующий сразу за обрушением (Безымянный 1956 г. и Сент-Хеленс 1980 г.). Данные работ [19, 20, 30] показывают, что в подавляющем большинстве случаев постройка вулкана теряет устойчивость и обваливается еще при глубоком положении расплава, поэтому направленные взрывы являются редким явлением. Приведенные сценарии относятся к случаям извержения андезитовых и дацитовых магм. Вероятно, для магм других составов (и, более точно, с другими физико-механическими свойствами) характер извержения после обрушения может быть существенно иным. В случае потери устойчивости вулкана в результате действия фумарол обрушения сопровождаются только фреатическими взрывами без выброса ювенильного материала (Бандай-Сан). Обрушения на потухших вулканах не сопровождаются какой-либо вулканической активностью (Камень). Несмотря на то, что воздействие обрушений на ход извержений еще слабо изучено, указанные закономерности дают ключ к оценке вулканической опасности для случаев обрушения вулканических построек.

Выводы. 1. Агломерат направленного взрыва извержения вулкана Безымянный 30.03.1956 г. является отложениями быстрой (60 м/с), холодной ($< 100^{\circ}\text{C}$) и относительно "сухой" обломочной лавины, которая образовалась в результате обвала-оползня части постройки вулкана.

2. Обрушение было первым событием пароксизмального извержения 30.03.1956 г. За обрушением с интервалом $< 2,5$ мин последовал направленный взрыв, после которого изверглись пирокластические потоки.

Авторы признательны Г.Е. Богоявленской, Ю.Б. Слезину, О.А. Брайцевой, И.В. Мелекесцеву, В.Ю. Кирьянову, М.А. Алидибирову и др. за консультации при написании работы.

Исследования выполнены при поддержке Международного научного фонда и Правительства России (грант RMF300).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В.Д., Гостинцев Ю.А., Фирстов П.П. О природе воздушных волн при сильных эксплозивных извержениях // Вулканология и сейсмология. 1984. № 5. С. 3-11.
2. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г. Извержение вулкана Шивелуч в 1964 г. (Камчатка) — плининское извержение, предвращавшееся крупномасштабным обрушением постройки // Вулканология и сейсмология. 1995. №4-5. С. 116-126.
3. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г., Жданова Е.Ю. Деятельность вулканов Северной группы (Камчатка) в 1990-1992 гг. // Вулканология и сейсмология. 1996. № 2. С. 25-33.
4. Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А., Мелекесцев И.В. и др. Катастрофические извержения типа направленных взрывов на вулканах Сент-Хеленс, Безымянный, Шивелуч // Вулканология и сейсмология. 1985 г. № 2. С. 3-26.
5. Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А., Мелекесцев И.В. и др. Вулкан Безымянный // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 168-200.
6. Брайцева О.А., Кирьянов В.Д. О прошлой активности вулкана Безымянный по данным тефрохронологических исследований // Вулканология и сейсмология. 1982. № 6. С. 44-55.
7. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Богоявленская Г.Е., Максимов А.П. Вулкан Безымянный: история формирования в динамика активности // Вулканология и сейсмология. 1990. № 2. С. 3-22.
8. Горшков Г.С. Извержение сопки Безымянной (предварительное сообщение) // Бюлл. вулканол. станций. 1957. № 26. С. 19-72.
9. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.
10. Горшков Г.С. Богоявленская Г.Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения (1955-1963 гг.). М.: Наука, 1965. 170 с.
11. Гуценко И.И. Пеплы Северной Камчатки и условия их образования. М.: Наука, 1965. 144 с.
12. Добрынин Н.Ф. Аналитико-фотограмметрический метод количественной оценки экструзивных процессов // Вулканология и сейсмология. 1991. № 2. С. 92-110.
13. Ермаков В.А. Отложения направленного взрыва вулкана Камень // Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 82-93.
14. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Эрлих Э.Н., Кожемяка Н.Н. Вулканические горы и равнины // Камчатка. Курильские острова и Командорские острова. М.: Наука, 1974. С. 162-234.
15. Мелекесцев И.В., Литасова С.И., Сулержицкий Л.П. О возрасте и масштабе катастрофических извержений типа направленного взрыва вулкана Авачинский (Камчатка) и позднем плейстоцене // Вулканология и сейсмология. 1991. № 2. С. 3-12.
16. Рябинин Ю.Н., Родионов В.Н. Оценка энергии вулканических взрывов // Вулканизм и глубинное строение Земли. Тр. Всесоюз. вулканол. совещ. Т. 3. М.: Наука, 1966. С. 56-60.
17. Селезнев В.И., Двигало В.П., Гусев Н.А. Развитие вулкана Безымянный по данным стереофотограмметрической обработки аэрофотосъемок 1950, 1967, 1976-81 гг. // Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 52-65.
18. Шанцер А.Е. Вулкан Тауншиц // Бюлл. вулканол. станций. 1973. №49. С. 24-28.
19. Belousov A.B. The Shiveluch volcanic eruption of 12 November 1964- explosive eruption provoked by failure of the edifice // J. Volcanol. and Geotherm. Res. 1995. V. 66. P. 357-365.
20. Belousov L.I., Belousova M.G. Large scale landslides on active volcanoes in XXth century - examples from Kurile-Kamchatka region (Russia) // Proc. VII-th Internal. Simpos. on Landslides. Norway, 1996. P. 953-957.
21. Belousova M.G., Belousov A.B. Prehistoric and 1933 debris avalanches and associated eruptions of Harimkotan Volcano (Kurile islands) // Periodico di Mineralogia. 1995. V. LXIV. P. 99-101.
22. Belousov A.B., Bogoyavlenskaya G.E. Debris avalanche of the 1956 Bezymianny eruption // Kagoshima Int. Conf. on Volcanoes. Proceedings. Japan. 1988. P. 460-462.

23. *Castellana B., Davidson G.P., Belousov A.B., Belousova M.G.* Milestones of geology of the Avachinsky volcano, Kamchatka, Russia // EOS, Transactions, AGU 1995 Fall Meeting. V. 76. №46. P. 357.
24. *Glicken H.* Sedimentary architecture of large volcanic debris avalanches // Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Spec. Publ. 1991. V. 45. P. 99-106.
25. *Glicken H.* Rockslide-debris avalanche of May 18, 1980, Mount St. Helens Volcano, Washington // U.S. Geol. Survey Prof. Pap. 1997. V. 1488. 304 p.
26. *Gorshkov G.S.* Directed volcanic blasts // Bull. Volcanol. 1963. V. 26. P. 83-88.
27. *Lipman P.V., Mullinaux D.R.* (eds) The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington // US Geol. Surv. Prof. Pap. 1981. V. 1250, 844 p.
28. *Siebert L.* Large volcanic debris avalanches; characteristics of source areas, deposits, and associated eruptions // J. Volcanol. and Geotherm. Res. 1984. V. 22. P. 163-197.
29. *Ui T.* Volcanic dry avalanche deposits - Identification and comparison with nonvolcanic debris stream deposits // J. Volcanol. and Geotherm. Res. 1983. V. 18, P. 135-150.
30. *Voight B., Belousova M.G., Belousov A.B.* Magmatic-ground water interactions with edifice collapse and explosive volcanism: example from repetitive events at Shiveluch volcano, Kamchatka // Geolog. Soc. Amer. meeting. Seattle, USA, 1994. Abstracts.
31. *Voight B., Glicken H., Janda R.J., Douglass P.M.* Catastrophic rockslide avalanche of May 18 // The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington / Eds Lipman P.W., Mullineaux D.R. USA Geol. Surv. Prof. Pap. 1981. V. 1250. P. 347-378.
32. *Walker C.P.L.* Grain-size characteristics of pyroclastic deposits // J. Geol. 1971. V. 79. P. 696-714.

Институт вулканической геологии
и геохимии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский

Поступила в редакцию
20.06.1996